

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá výpočtovými systémy na bázi metody konečných prvků určené pro konstruktéry. Jsou zde popsány nejčastěji používané systémy, jejich funkce a obsažené moduly, které pomáhají konstruktérovi při práci.

Práce popisuje čtyři nejpoužívanější výpočtové programy - ANSYS Workbench, COSMOS DesingSTAR, Abaqus a FEMPRO. Každý systém je dále rozčleněn do podkapitol, ve kterých jsou popsány jeho vlastnosti a možnosti pracování se systémem.

V závěru jsou zhodnoceny a srovnány jednotlivé systémy a dále také určena vhodnost použití jednotlivých systému za daných podmínek.

ABSTRACT

This work deal with computational systems on base method final elements intended for engineer. There are descibed most often used systems, their function and included moduls that help engineer at work.

Work describes four most widely used computing program - ANSYS Workbench, COSMOS DesingSTAR, Abaqus and FEMPRO. Every system is further dispersed to the subchapter, in which are circumscribed his characteristics and possibility working system.

At the close are reviewed and planed individual systems and further also intended fitness using single system under given conditions.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRÉMUND, L. Výpočtové systémy na bázi MKP určené pro konstruktéry, VUT-FSI, 2008, 36 s.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovával sám, s pomocí vedoucího bakalářské práce, literatury a ostatních dohledaných materiálů, které mi byly poskytnuty či samostatně dohledány a které jsou uvedeny v závěru práce.

V Brně, dne 17.10.2008

.....

Podpis

OBSAH	
1 ÚVOD	6
2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	6
3 ANSYS WORKBENCH	7
3.1 Základní informace	7
3.2 Spolupráce s CAD systémy	7
3.3 Tvorba modelu geometrie	9
3.4 Tvorba sítě konečných prvků	10
3.5 Knihovna materiálů	10
3.6 Zadávání vazeb a zatížení	10
3.7 Řešení, typy analýz	12
3.8 Prezentace výsledků	13
4 COSMOS DESIGNSTAR	15
4.1 Základní informace	15
4.2 Spolupráce s CAD systémy	15
4.3 Tvorba modelu geometrie	15
4.4 Tvorba sítě konečných prvků	16
4.5 Knihovna materiálů	18
4.6 Zadávání vazeb a zatížení	18
4.7 Řešení, typy analýz	20
4.8 Prezentace výsledků	20
5 ABAQUS/CAE	22
5.1 Základní informace	22
5.2 Spolupráce s CAD systémy	22
5.3 Tvorba modelu geometrie	22
5.4 Tvorba sítě konečných prvků	22
5.5 Knihovna materiálů	22
5.6 Zadávání vazeb a zatížení	23
5.7 Řešení, typy analýz	23
5.8 Prezentace výsledků	23
6 FEMPRO	24
6.1 Základní informace	24
6.2 Spolupráce s CAD systémy	24
6.3 Tvorba modelu geometrie	24
6.3.1 Alibre Design Professional	24
6.3.2 Alibre Design Expert	24
6.4 Tvorba sítě konečných prvků	24
6.5 Knihovna materiálů	25
6.6 Zadávání vazeb a zatížení	25
6.7 Řešení, typy analýz	26
6.8 Prezentace výsledků	26
7 HODNOCENÍ	27
7.1 Komunikace s CAD systémy	27
7.2 Tvorba sítě konečných prvků	27
7.3 Druhy používaných analýz	28
8 ZÁVĚR	29
9 SEZNAM OBRÁZKŮ	30
10 SEZNAM TABULEK	31
11 SEZNAM LITERATURY	32

1 ÚVOD

V dnešní době je udávaným trendem v konstrukční praxi používat takové MKP produkty, které jsou určeny přímo pro konstruktéry. Jsou to např. ANSYS Workbench, COSMOS DesignSTAR 2007. Takovéto produkty se používají z důvodu zkrácení časového vývoje, snížení nákladů na provádění zkoušek, zlepšení kvality návrhu, zvýšení produktivity a jiných.[1]

Další důvod proč je důležité se tímto tématem zabývat je ten, že Ústav konstruování Fakulty strojního inženýrství v Brně má některé systémy zahrnuté ve své výuce.

Tato bakalářská práce je průvodní studií těch produktů, které se zabývají MKP určené výhradně pro konstruktéry. V rámci této práce jsou uvedeny hlavní přednosti popisovaných systémů.

MKP produkty pro konstruktéry mají rozdíl od klasických produktů pro vývojáře své nevýhody, například menší možnosti úpravy sítě, omezený výběr počtu typových prvků, nemožnost provést některé analýzy. Avšak výhodou je jejich cenová dostupnost.[1]

Tyto systémy jsou založeny na jednoduchém postupu práce, a to vytvoření modelu v jakémkoli parametrickém modeláři (podporovaný systémem), kde je modelování geometrie mnohem jednodušší. Dále načtení do MKP softwaru, zadání okrajových podmínek, zatížení a vazeb. Nakonec vytvoření sítě konečných prvků, provedení výpočtu a jeho zhodnocení.

Hlavní rozdíl oproti klasickým MKP produktům, které jsou určeny pro vývojáře, je ten, že tyto produkty mají uživatelské prostředí, které vede konstruktéra krok za krokem bez nutnosti hlubších znalostí metody konečných prvků.

Samotná metoda konečných prvků spočívá v určení deformace a napjatosti ve všech místech tělesa při známém zatížení a uložení tělesa, proto metoda konečných prvků (v angličtině z překladu FEM Finite Element Method) je matematická metoda založená na řešení soustavy diferenciálních rovnic, popisujících vlastnosti a chování dané fyzikální soustavy. Podstata metody spočívá v rozdělení oblasti tělesa na konečný počet podoblastí, které označujeme jako prvky. Původní tělesa rozdělená na prvky se nazývá **sít' konečných prvků** (FE mesh).

Počet prvků a způsob dělení je nutné provádět tak, aby výsledky byly dostatečně přesné. Jemnějším dělením (tedy více prvků) obdržíme přesnější výsledky, ale při tom prudce narůstá náročnost úlohy na výpočtový čas a hardware. Obecně platí, že v místech, kde lze předpokládat vyšší koncentraci napětí (vruby, přechody), je nutné použít jemnější dělení. Výpočtové programy tuto fázi řeší velmi často automaticky, proto se tato metoda používá pro řešení těles obecných tvarů.

2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této práce je podat přehled současného stavu využití výpočtových systému na bázi metody konečných prvků určených primárně pro konstruktéry. Tento přehled je zpracován na vybraných systémech, jejich popisu použití a následně je uvedeno jejich vzájemné zhodnocení.

3 ANSYS WORKBENCH

3

3.1

3.1 Základní informace

ANSYS Workbench prostředí, neboli Workbench technology je původní, unikátní řešení firmy ANSYS Inc., založené na obousměrné (tzv. bi-directional) asociativitě geometrie a sítě při zachování parametrické vazby a dalších algoritmech.[2]

ANSYS Workbench prostředí může nabídnout uživateli propojení s kvalitnější CAD integrací, automatické tvoření sítě a přístup k parametrům modelu stejně tak, jako k funkcím umístěným uvnitř produktů ANSYS Mechanical.[3]

Mechanická simulace s ANSYS Workbench je založena na jádru ANSYS řešitelské technologie v průmyslu, rozpoznávající a nabízející užitek v moderní analýze.[3]

Následující ANSYS nástroje umožňují uživateli pracovat s daným návrhem v prostředí ANSYS Workbench.

Společnost ANSYS také vyvinula systém ANSYS DESIGNSPACE, který je základní technologií pro deformačně-napjatostní analýzu v programu Autodesk Inventor Professional (dále jen AIP FEM). Deformačně-napjatostní analýza v AIP FME pomáhá společně výrazně redukovat počet potřebných programů pro vykonání analýzy. Dále umožňuje přezkoušet vlastnosti a chování navrhované konstrukce již v prvotních fázích vývojového procesu. Díky těmto vlastnostem mohou konstruktéři pracující v prostředí Inventor s podporou simulačního nástroje sami řešit řadu problémů, které dříve zadávali speciálním výpočtářským oddělením.[4]

3.2 Spolupráce s CAD systémy

3.2

S ANSYS lze přímo použít již existující původní CAD geometrii, bez jakéhokoli převádění a bez změny formátu (viz. Obr. 1). ANSYS zajistí původní - bi-directional - integraci s nejvíce používanými CAD systémy staršími více než deset let. Dále dokáže přímou integraci s nástrojovou lištou umístěnou v CAD programu.[3]

Daná geometrie importovaného zařízení je běžná ve všech CAD systémech a poskytuje schopnost pracovat s jediným simulačním prostředím, dokonce i když se užívají mnohočetné CAD balíky.[3]

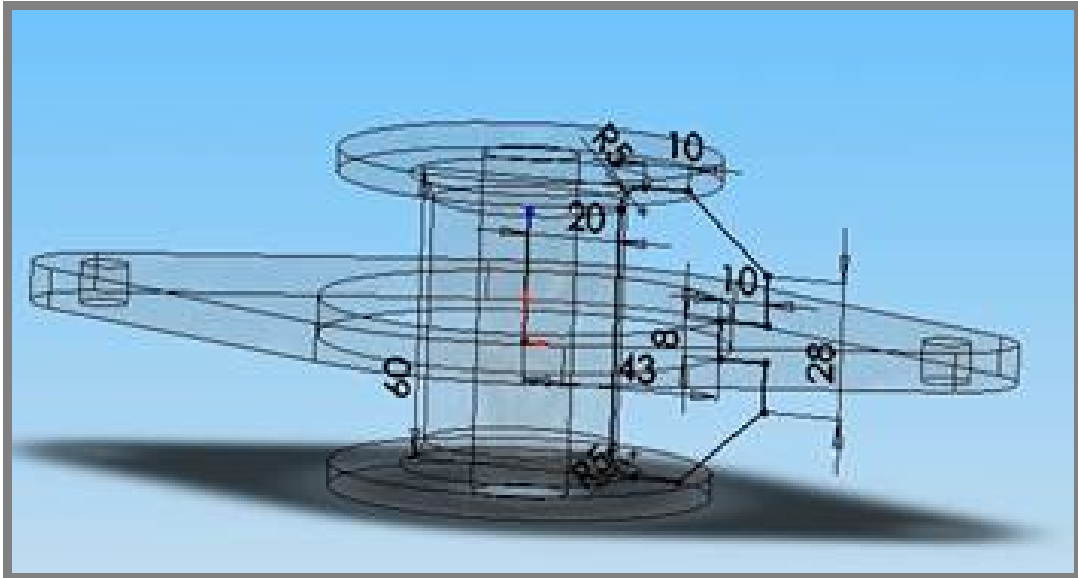
V ANSYS jsou podporovány následující CAD systémy:

Autodesk Inventor / MDT, Autodesk Inventor Professional Stress,

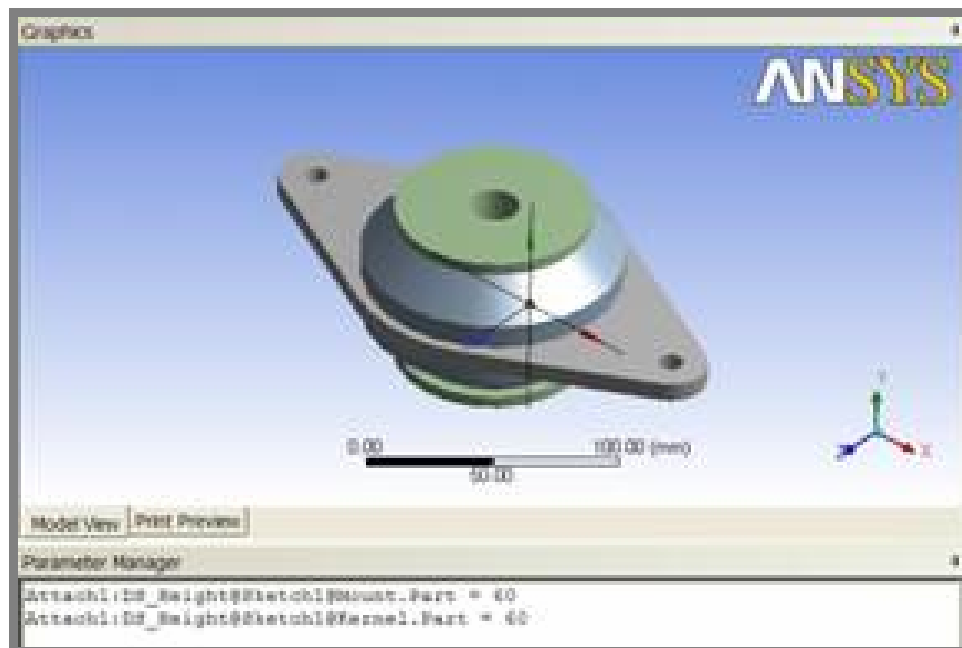
CATIA v4 and v5, Pro/ENGINEER, SolidWorks, Unigraphics, CoCREATE.

ANSYS Workbench také podporuje neutrální formáty souborů: IGES, Parasolid, ACIS, STEP - tento umožňuje užití jakéhokoli CAD systému schopného exportovat jakýkoli z těchto podporovaných formátů.[3]

ANSYS Workbench Environment užívá specifický plug-in složení zachovávající vztah s CAD systémy pro mnoho modelů (viz. Obr. 2), dovolující vytvořit navrhované změny v daném CAD modelu bez potřeby opětovného použití mnoha podpor. Lze přímo vybrat jakýkoli CAD rozměr ke změně nebo zvýšit návrh opakování s ANSYS DesignXplorer.[2]



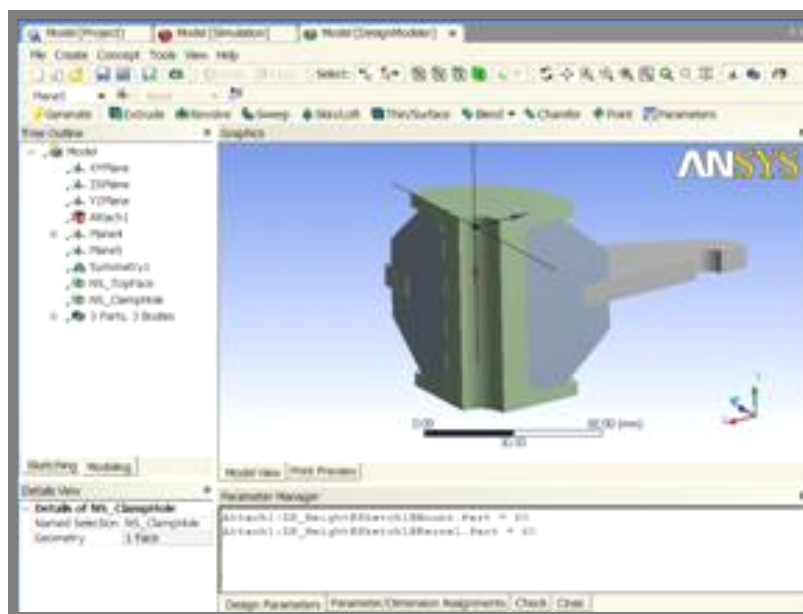
Obr. 1 Geometrie a parametry návrhu [3]



Obr. 2 ANSYS Workbench kontrola CAD parametrů [3]

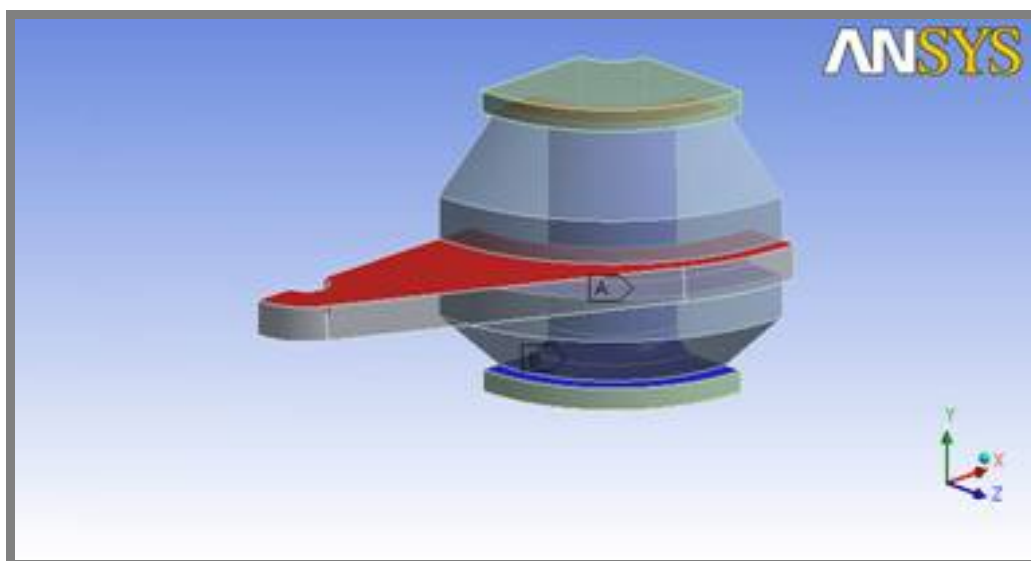
3.3 Tvorba modelu geometrie

Některé detaily v CAD modelu nemusí být důležité pro simulaci. ANSYS DesignModeler poskytuje možnost změny detailů například u otvorů, úkosů, řezu modelem (viz. Obr. 3). Dále potom vytvoření dalších parametrických geometrických znaků v modelu, vytvoření ohraničení a množství jiných vnitřních vymezení.[3]



Obr. 3 Řez modelem [3]

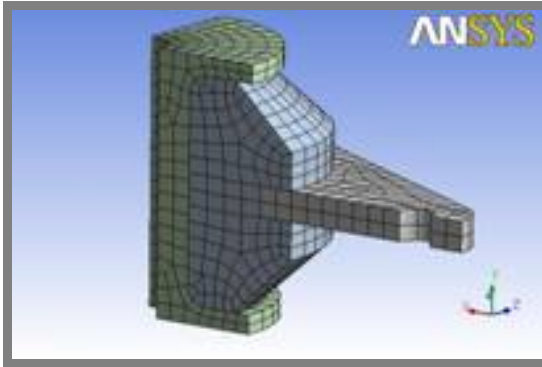
Pokud je jednou geometrie načtena, ANSYS pak automaticky zjišťuje a nastavuje propojení mezi částí a celkem (viz. Obr.4). Je možné navolit varianty nastavení spojení a rovněž další manuální nastavení rozlišovacích schopností. Pro pružnou/pevnou dynamiku je automatické zjišťování změn společné. Každé propojení je lehce zjistitelné uživatelem.[3]



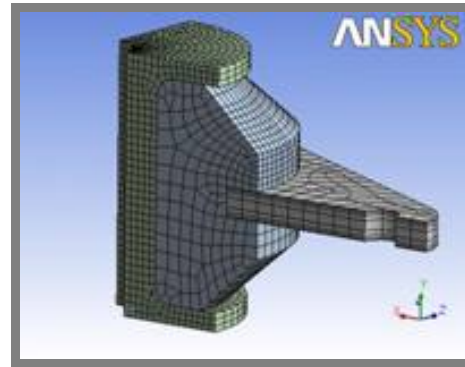
Obr. 4 Okamžitá změna geometrie [3]

3.4 Tvorba sítě konečných prvků

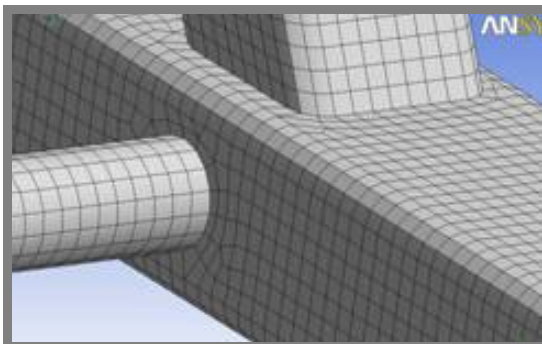
ANSYS poskytuje rozsáhlou škálu vysoce výkonných automatizovaných nástrojů, které dokáží vytvořit síť skládající se z konečných prvků (viz. Obr. 5 a 6). Počínaje čtyřbokými prvky až po šestistěnné, nevyjímaje skořepinové sítě (viz. Obr. 7). Dále disponuje nastavením pro různé otvory, žebra, zaoblění a mnohá další (viz. Obr. 8).[3]



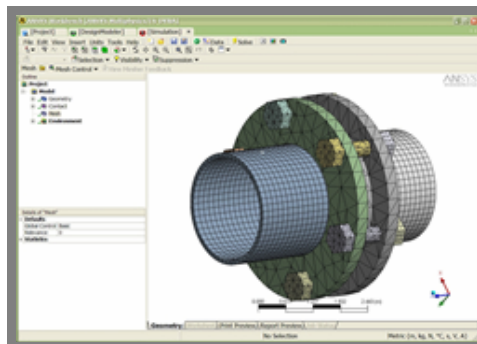
Obr. 5 Hrubší síť konečných prvků [3]



Obr. 6 Jemnější síť konečných prvků [3]



Obr. 7 Vysoce kvalitní skořepinová síť [3]



Obr. 8 Shromažďování sítě na odlišných typech součástí [3]

3.5 Knihovna materiálů

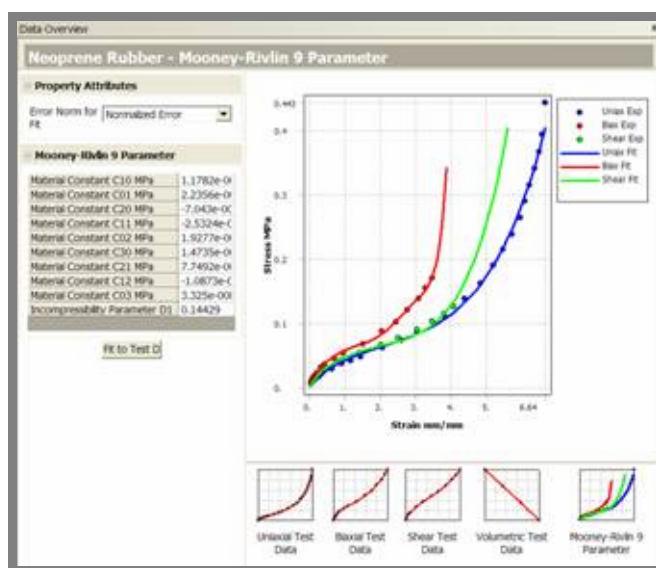
ANSYS Workbench nabízí kompletní řadu lineárních a nelineárních materiálových modelů požadovaných pro přesnou reprezentaci materiálového chování ve skutečném světě. Materiálové chování je nezávislé na typu elementů užívaných na modelu. K dispozici jsou například izotropní, ortotropní, anizotropní materiály ze skupiny lineárních materiálových modelů a mnohé další ze skupin nelineárních a hyperelastických.[3]

3.6 Zadávání vazeb a zatížení

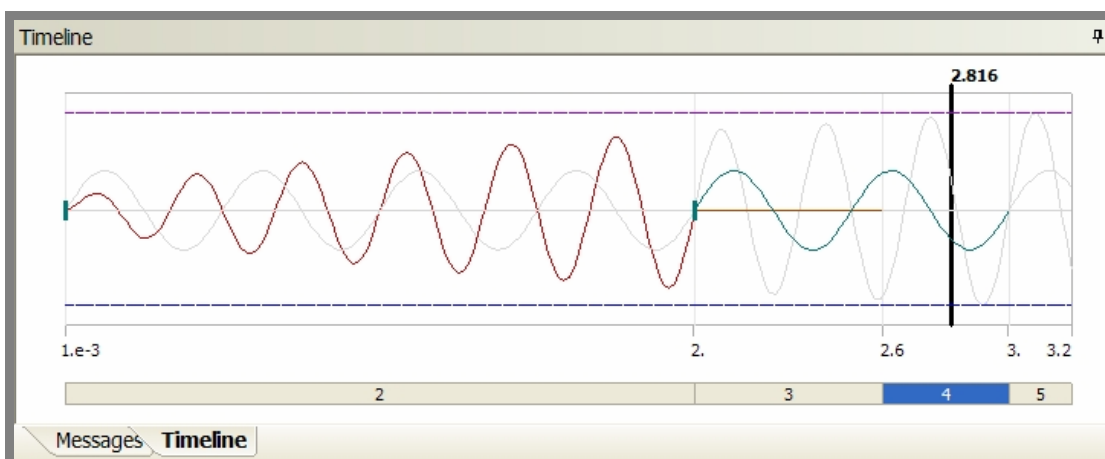
Každý stav hranic je definován relativními geometrickými entitami, dovolujícími jednoduché a přesné zobrazení fyzikální podstaty modelu, a to prostřednictvím volby vhodné okrajové podmínky (viz. Obr.9). Toto vymezení nevyžaduje více než pár kliknutí myši. Uživatel by měl být schopen snadno vytvořit nejsložitější záznam z nabízených tranzitních nebo nelineárních analýz (viz. Obr. 10 a 11).[3]



Obr. 9 Okrajové podmínky aplikovány na geometrických Entitách [3]



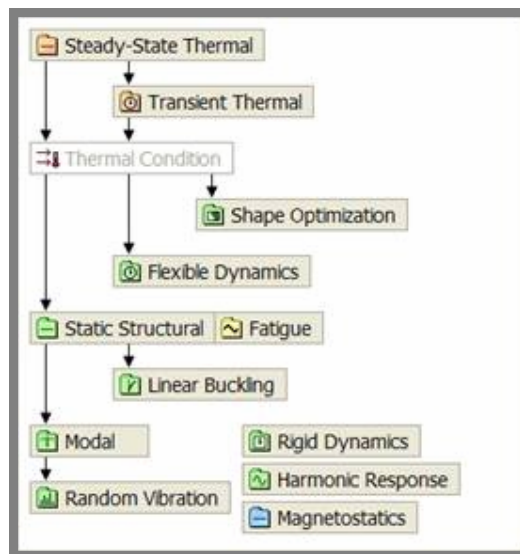
Obr. 10 Přizpůsobení hyperelastických zákonů experimentálním datům [3]



Obr. 11 Zatěžovací historie při mnohonásobných časových krocích [3]

3.7 Řešení, typy analýz

ANSYS řešitelská technologie pomáhá konstruktérovi řešit modely na jakémkoli stupni složitosti: statická lineární analýza, modální analýza, modely s mnohonásobným stykem, nelineární materiály, tranzitní termální analýza, přechodová dynamika, spektrální analýza a mnoho dalších. Různé variace mohou být také spojeny, čímž dovolují začít od pevnostní termální analýzy, která může být použita jako počáteční podmínka pro tranzitní termální simulaci (viz. Obr.12). Jeden z těchto příkladů může být použit k vytvoření termální napěťové analýzy, dávající periodické body postavené na předepjatém stavu pro modální nebo vzpěrnou analýzu.[3]

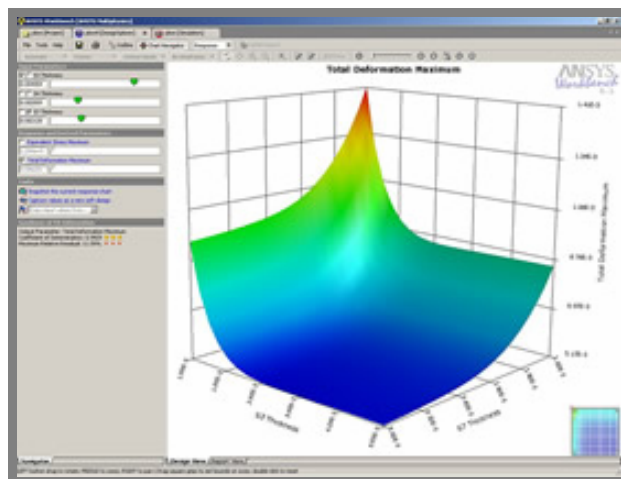


Obr. 12 ANSYS Workbench zobrazení nezávislé či propojené analýzy [3]

ANSYS přináší lepší technologii v podobě DesignXplorer, což je nástroj pro rychlejší a efektivnější analýzu a umožňuje také provádět výpočet na několika různých variantách modelu vytvořených v CAD systému, například varianta s žebry/bez žebor, různé rádiusy, tloušťky a podobně. DesignXplorer umožňuje:

- sledování výpočtů a porovnávání výsledků variant Create Design and Analysis Charts
- vyznačení nových dílů a úprav Design new members of family of parts
- provádění optimalizace Optimize a part of new conditions (viz. Obr. 13)

DesignXplorer používá parametrickou definici modelu zahrnující geometrii, materiál a zatížení, přičemž jednotlivé parametry mohou pocházet z různých CAD nebo FEM systémů. Předmětem následných analýz může být strukturální analýza a teplo. Výkonný software umožňuje provádět multiplicitní optimalizaci na velkých soustavách.[2]



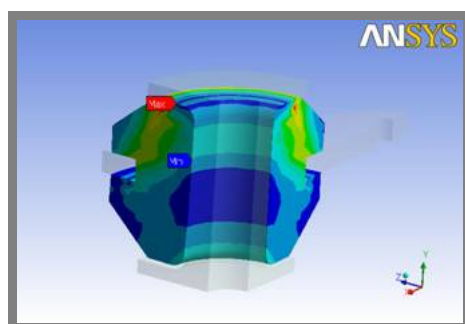
Obr. 13 DesignXplorer tří-dimenzionální diagram umožňující optimalizaci návrhu [3]

3.8 Prezentace výsledků

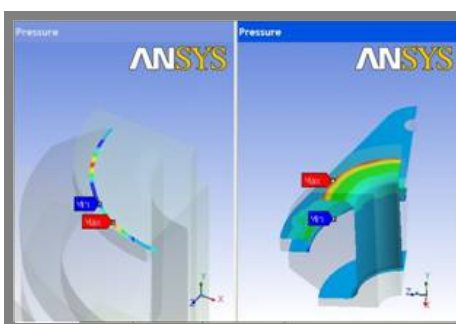
3.8

ANSYS poskytuje kompletní sady nástrojů, které dokáží předběžně zobrazit výsledek na modelu jako například obrysy (viz. Obr.14) nebo polohy vektorů. Výkonná a intuitivní technika dovoluje více detailních výsledků než dávají části dané geometrie (viz. Obr. 15). Všechny z těchto výsledků mohou být exportovány jako textová data nebo jako tabulkový procesor (viz. Obr. 17) pro hlubší výpočet. Animace jsou poskytovány pro statické úlohy stejně jako pro nelineární. Jakýkoli výsledek či okrajová podmínka mohou být využity k vytvoření výrobního nákresu.[3]

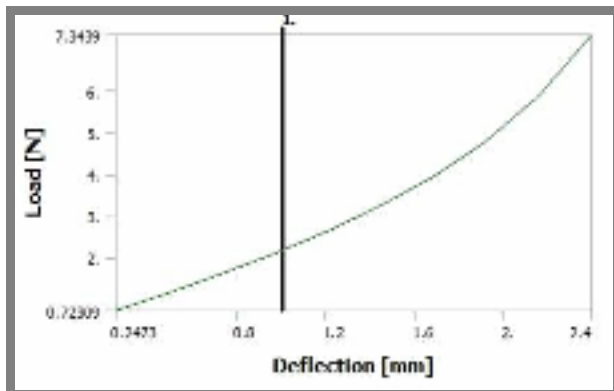
ANSYS dovoluje vyhodnotit daný návrh mnoha postupy, například pomocí grafu (viz. Obr. 16). Všechny výsledky mohou být efektivně zdokumentovány: ANSYS umožní okamžitě zhotovit zprávu se všemi potřebnými nashromážděnými technickými daty a obrázky modelu ve vhodném formátu (html, MS Word, MS PowerPoint a jiné).[3]



Obr. 14 Konturový náčrt na tělese [3]



Obr. 15 Výsledek zobrazený na jakékoli části geometrie [3]



Obr. 16 Zobraný graf pro odchylovací křivku [3]

A1		ANSYS Node Number			
	A	B	C	D	E
1	ANSYS Node	Pressure (MPa)			
2	518	0			
3	519	0			
4	520	0			
5	521	0			
6	522	0			
7	523	0			
8	524	0			
9	525	0			
10	526	0			
11	527	0			
12	528	0			
13	529	0			
14	548	1.78E-03			
15	549	-5.68E-04			
16	550	-5.91E-04			
17	551	-4.11E-05			
18	552	-3.06E-04			
19	553	8.97E-06			
20	554	-1.87E-03			
21	555	1.39E-03			
22	556	1.33E-03			

Obr. 17 Výsledek výpočtu zobraný jako textová data [3]

4 COSMOS DESIGNSTAR

4.1 Základní informace

COSMOS DesignSTAR verze 2007 je produkt od americké společnosti SRAC, který přináší snadnější použití nových standardů pro modelovou analýzu na bázi MKP a i proto je velmi často volen inženýry na celém světě.[1]

COSMOS DesignSTAR nabízí široký okruh pokročilých voleb analýzy včetně simulace pohybu, integrované analýzy únavy, nelineární, tepelné a elektromagnetické simulace (tato práce se zabývá tímto programem pouze z hlediska použití pro konstruktéra, proto některé volby analýzy budou opomenuty).[6]

4.2 Spolupráce s CAD systémy

Software pracuje se všemi populárními 3D CAD programy, jako jsou například: Autodesk Inventor či SolidWorks.[5]

COSMOS DesignSTAR je založený na Parasolid jádru, také podporuje ACIS a STEP AP203 standardy. Program podporuje modelové soubory Pro/Engineer, CATIA a IGES. Modelové soubory mohou být snadno integrovány do COSMOS DesignSTAR pro analýzu a vyhodnocení z jakýchkoli významnějších CAD programů.[5]

Pracující technika užívaná programem přikazuje části nebo celku ve specializovaném navrhovacím programu, že musí být uložen v CAD programu v kompatibilním formátu uvedeném na seznamu, který DesignSTAR užívá:

- soubor COSMOS /DesignSTAR typu „part“ (*.DgxPrt),
- soubory Autodesk Inventor (*.ipt, *.iam),
- soubory Solid Edge (*.par, *.psm),
- soubor Solid Works (*.sldprt),
- soubory Parasolid (*.x_t, *.x_b, *.xmt_bin, *.xmt_txt),
- soubory ACIS (*.sat),
- soubory STEP (*.stp, *.step),
- soubory IGES (*.igs, *.iges),
- soubory Pro/ENGINEER (*.prt),
- soubory CATIA (*.mod, *.model).

4.3 Tvorba modelu geometrie

Geometrická přepsání nemohou být prováděna v DesignSTAR, výjimku tvoří pouze potlačení nepodstatných částí modelu. Je tu zahrnuta i možnost vytvořit spojení mezi CAD programy a DesignSTAR. Proto tedy může uživatel model vytvořit přímo v DesignSTAR nebo ho vytvořit v některém z výše uvedených CAD systému a následně jej importovat do DesignSTAR.[5]

4.4 Tvorba sítě konečných prvků

DesignSTAR nabízí možnost automatické generace sítě konečných prvků stejně tak jako nastavení této sítě samotným uživatelem.

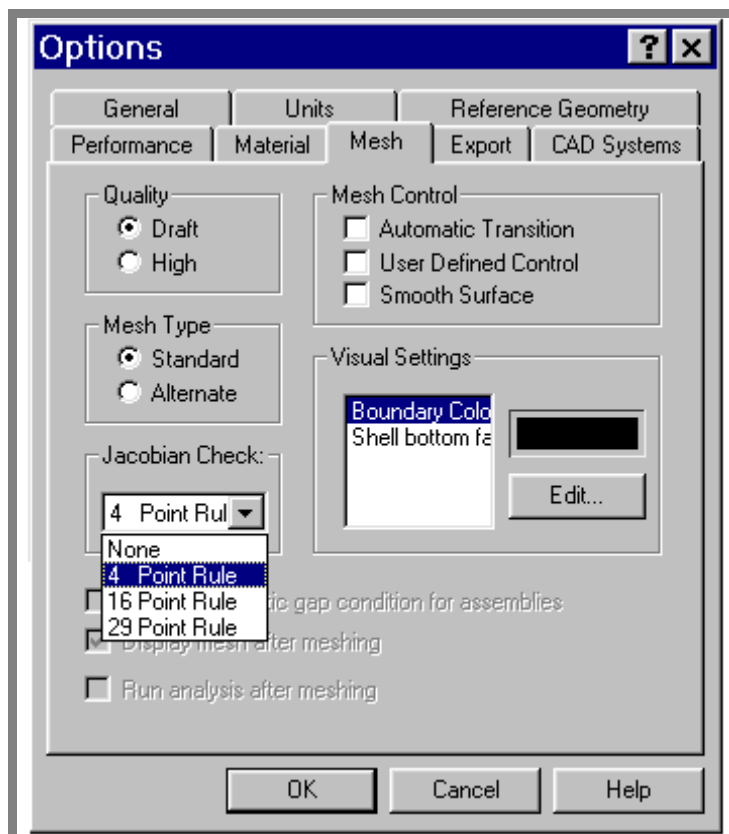
DesignSTAR nabízí v každém případě přetvoření dostupnou alternativu nastavení druhu prvku. V případě Solid je to:

- draft duality mesh - generování tetraedrického lineárního pevného prvku, definovaného skrze čtyři uzly propojené šesti lineárními hranami
- high duality mesh - generování tetraedrického parabolického pevného prvku, definovaného skrze čtyři uzly, šesti polouzly příslušné šesti lineárním hranám

Ve verzi přetvoření typu Shell jsou vhodné pro povrchové modely nabízené také dvě alternativy:

- draft quality mesh - generování trojúhelníkového lineárního prvku, definovaného skrze tři uzly propojené třemi hranami
- high duality mesh - generování trojúhelníkového parabolického prvku, definovaného skrze tři uzly, tři polouzly příslušné třem parabolickým hranám

DesignSTAR dále nabízí ve volbě Mesh Type (viz. Obr.18) možnost vybrat schéma varianty přetvoření: Standard či Alternate.[5]

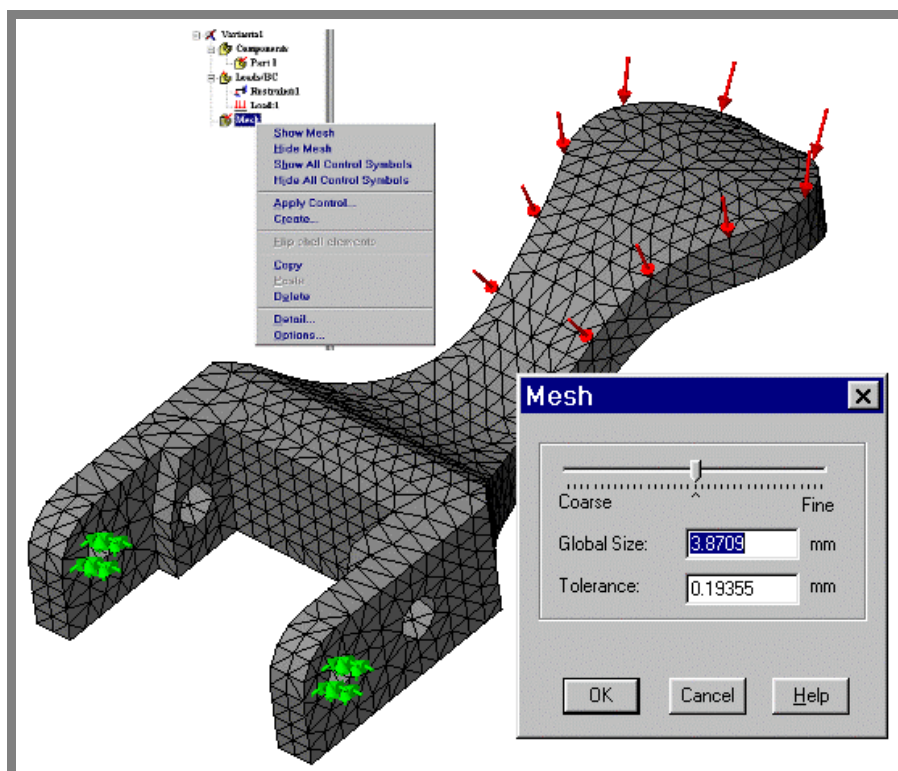


Obr. 18 Volba nastavení druhu prvků [4]

Dále program podporuje volbu Jacobian Check, která dovoluje zvolit počet integračních bodů (4, 16, 29) (viz. Obr. 18). Tato volba se využívá pro ověření úrovně zkroucení prvků.[5]

Kontrola přetvoření Mesh control (viz. Obr. 18) nabízí tři možnosti.

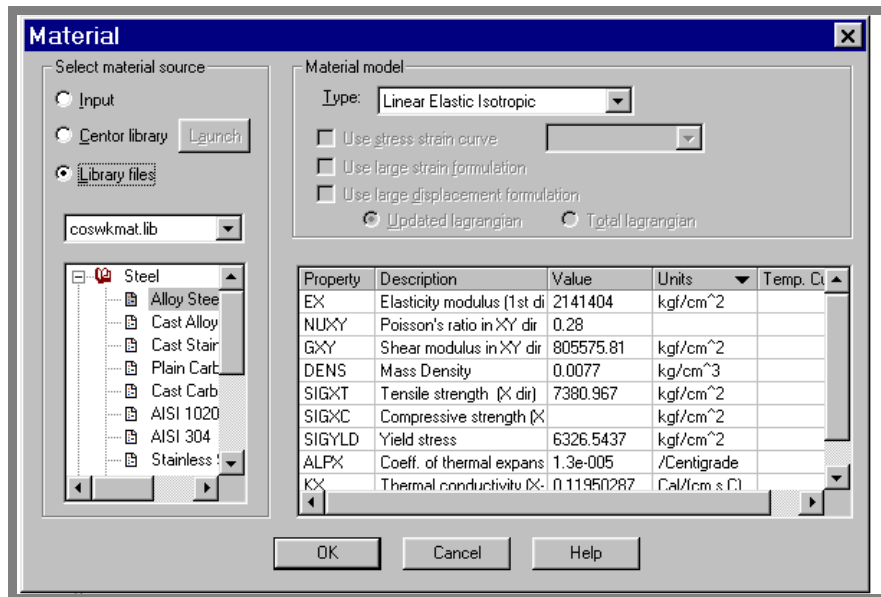
- Automatic transition - po aktivaci této kontroly program žádá detaily přetvoření, děr a geometrických částí s malými rozměry
- Used Defined Controls - po aktivaci této kontroly program žádá podrobnosti o přetvoření ve všech zónách explicitně definované uživatelem
- Smooth Surface - po aktivaci této kontroly program vyhledá přetvoření, tím že zvýší kvalitu počátečního přetvoření [5]



Obr. 19 Příklad zobrazení sítě [4]

4.5 Knihovna materiálů

Pro početní analýzu je možné definovat materiál pro každou část analyzovaného modelu zvlášť. Materiál může být vybrán pro každý díl z knihovny materiálů (viz. Obr.20), který program obsahuje v základní instalaci. Materiály jsou kategoricky seřazeny: ocel, železo, hliník, měď, atd. Každá kategorie obsahuje sadu materiálů s předdefinovanými vlastnostmi. Proto může být materiál modelu vybrán z dostupného seznamu například pružně lineární, izotropní, ortotropní, anizotropní.[5]



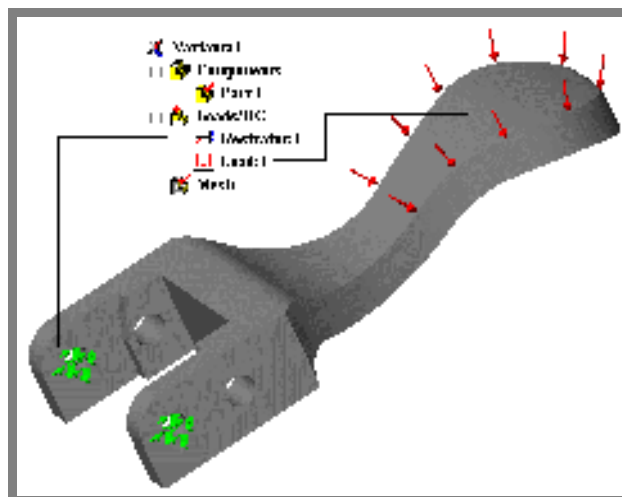
Obr. 20 Menu nabízející definování materiálu [4]

4.6 Zadávání vazeb a zatížení

Pro konečnou analýzu modelu je nutné stanovit zatížení a okrajové podmínky, které mohou být specifikovány skrze volbu nabídek či přes kontextové menu (viz. Obr. 21).[5]

K dispozici jsou čtyři druhy zatížení a okrajových podmínek:

- omezení pohybu pro strukturální studii (statická analýza, deformace a četnost), možnost předepsání pohybu s nulovými hodnotami
- zatížení pro statickou analýzu studující typ, deformaci a nelineárnost, příslušné volby pro četnost, což zahrnuje síly, momenty, rovnoměrný tlak, gravitační síly (lineární zrychlení, úhlové rychlosti, zrychlení), tepelné zatížení
- zatížení a okrajové podmínky pro studia tepelného typu: předepsané teploty, převod, tepelné zatížení (tok tepla), záření
- zatížení a okrajové podmínky pro analýzu proudění tekutin [5]



Obr. 21 Zobrazení zatížení a okrajových podmínek [4]

Dále lze nadefinovat pevné body - fixace součástí. K dispozici jsou tyto fixace entit:

- Fixed - prostorová fixace entity
- Symmetric - pouze pro navržený povrch, zakazuje posunutí bodů na povrchu směrem k němu, připustí pouze posunutí v souměrných rovinách
- Non-Sliding Face - pouze pro navržený povrch, zakazuje bodům posunutí na povrchu, připustí pouze posunutí v normálovém směru k povrchu
- Sliding Face - pouze pro navržený povrch, zakazuje posunutí bodů ve směru normálovém k povrchu, připustí pouze posunutí na povrchu
- No Translation - přiřadí nulu pro X, Y, Z složky posunutí
- No Rotation - přiřadí nulu pro možné složky rotace
- Prescribed - povolí předepsané hodnoty vynucené rotací a posunem ve směru X, Y, Z [5]

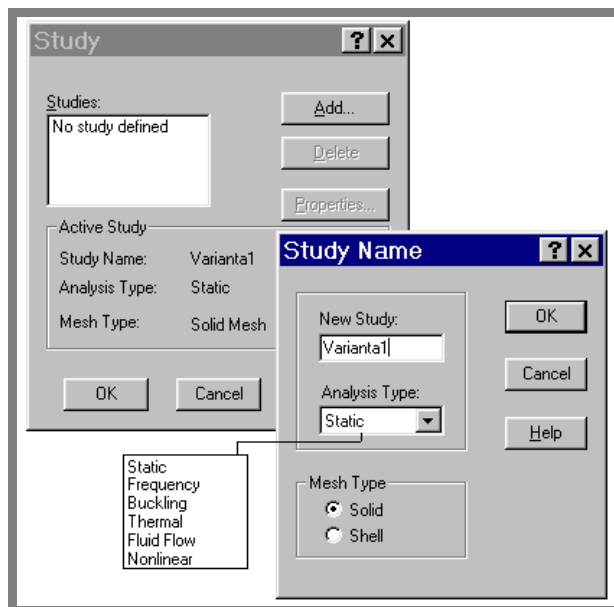
Program umožňuje nadefinovat i zatížení, které se provádí volbou Load. Platné zatěžovací druhy jsou předdeklarované v seznamu Load Type, jsou to:

- Force - dovoluje použití celkové síly na jednu nebo několik entit: vrchol, okraj
- Torque - stanovení kroutícího momentu na jednom nebo několika vybraných površích
- Moment - dovoluje použití ohybového momentu na jednom nebo více vybraných površích
- Uniform pressure - dovoluje použití rozloženého tlaku na vybraném povrchu [5]

4.7 Řešení, typy analýz

DesignSTAR operuje s Design Study konceptem, který je technikou pro analýzu modelu, pochopení jak sjednotit jednotlivé znaky k analýze jako například typ analýzy a přidružených voleb, materiálů, napětí a okrajových podmínek.[5]

Prvním krokem po otevření souboru, který obsahuje geometrii modelu, je definování typu prováděné analýzy (viz. Obr. 22) na konkrétním modelu.[5]



Obr. 22 Definování prováděné analýzy [4]

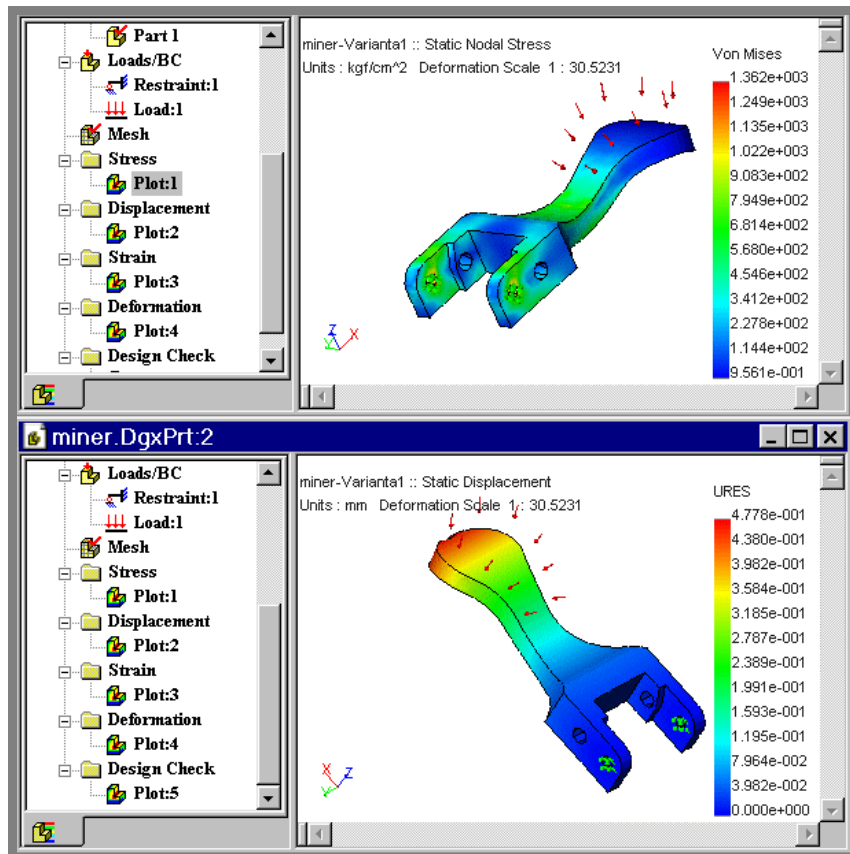
Pro model si můžeme zvolit z několika typů analýz, například: statickou, modální, termální, nelineární analýzu a jiné.

4.8 Prezentace výsledků

Výsledky mohou být zobrazeny obrazovou formou (barevné mapy a schémata), danou příslušnými číselnými hodnotami. Výsledky závisí na přiřazeném typu analýzy.[5]

Results Visualization nabízí nezbytné prostředky pro zobrazení výsledků.

Pro grafické výsledky se preferují barevné mapy (viz. Obr. 23), obsahující barevné legendy přidružené k digitálním hodnotám. Tyto hodnoty mohou být získány přesně pro různé entity (okraje, povrchy, prvky, atd.). Digitální výsledek může být zobrazen tabulkou nebo uložený v souboru.[5]



Obr. 23 Zobrazení výsledku analýzy [4]

5 ABAQUS/CAE

5.1 Základní informace

Pod názvem ABAQUS je zahrnuto mnoho produktů od společnosti Simulia pro řešení mnoha úloh na bázi MKP. Jedním z těchto produktů je systém ABAQUS FEA. Jeho součástí je modul ABAQUS/CAE, který je určen výhradně pro konstruktéry a kterým se tato práce zabývá. Rovněž obsahuje ABAQUS/STANDARD, ABAQUS/EXPLICIT a další doplňkové nástroje.

ABAQUS/CAE intuitivní rozhraní integruje modelování, analýzu a její následné zobrazení do snadno použitelného prostředí, které pomáhá v postupu výpočtem méně zdatným uživatelům, a zároveň je vysoce produktivní pro zkušenější uživatele. ABAQUS/CAE podporuje známé interaktivní koncepty inženýrství jako parametrické modelování, interaktivní a skriptové operace a GUI úpravy.[8]

5.2 Spolupráce s CAD systémy

ABAQUS/CAE podporuje importování modelu z různých CAD systémů. Tento program dokáže importovat následující typy souborů vytvořené v CAD systémech: ABAQUS/STANDARD, ABAQUS/EXPLICIT, ACIS, AutoCad, CATIA V4 i V5, Parasolid, Pro/ENGINEER.[7]

5.3 Tvorba modelu geometrie

Uživatel má více možností jak vytvořit geometrii modelu, jeden způsob je již výše zmiňovaný import z různých podporovaných CAD systémů. Dále je tu i možnost vytvoření geometrie přímo v ABAQUS/CAE. Vývojáři tohoto programu se ale spíše zaměřili na import modelu, proto není vlastní vytvoření modelu v programu tak dokonalé, jak je tomu u ostatních systémů.[9]

5.4 Tvorba sítě konečných prvků

ABAQUS/CAE nabízí kompletní prostředí pro tvorbu sítě konečných prvků a různé varianty přístupů pro rychlejší a jednodušší tvorbu sítě. Například je k dispozici užitečná topologie, použitelná k vytvoření přesné a čisté sítě konečných prvků na importovaném modelu. Dále je k dispozici technika, která dokáže vytvořit síť z hexadecimálních prvků, a to velmi rychle i přes celé těleso. Dále vytvoří i plošnou síť zahrnující čtyřstranné a trojstranné prvky i trojrozměrnou síť disponující čtyřstrannými a šestistrannými prvky.[9]

5.5 Knihovna materiálů

ABAQUS/CAE a i ostatní produkty ABAQUS poskytují rozsáhlou knihovnu materiálů. Každé přiřazení materiálu danému modelu je použito k reálnějšímu chování analýzy. K dispozici jsou například homogenní materiály pro masivní či skořepinové modely. Systém dokáže po nastavení rozlišit i vznik trhlinky bodového svaru, lepeného spoje a další, které jsou iniciací pro poškození či porušení. ABAQUS poskytuje obecné soustavy materiálů pro modelování postupného poškození, které pomůže uživateli lépe předvídat následná selhání modelu vlivem zatížení. Toto předvídaní umožní vyrobit bezpečnější vzor a vyhnout se tak výrobě drahých modelů.[7] i [9]

5.6 Zadávání vazeb a zatížení

5.6

V ABAQUS se musejí definovat okrajové podmínky a zatížení krok za krokem, jakým se stávají postupně aktivními. Toto se provádí z toho důvodu, že tyto podmínky jsou časově závislé. Uživatel definuje předepsané stavy v pořadí - okrajové podmínky a následně zatížení. K dispozici jsou například následující podmínky: souměrnost, posunutí, rychlost daného bodu na modelu, definice vnitřního tlaku.[7]

5.7 Řešení, typy analýz

5.7

System jakým je ABAQUS/CAE poskytuje širokou škálu možností provádění analýzy modelu. Uživatel provádí jako první krok konfiguraci hlavní procedury analýzy. Tato hlavní procedura se provádí pro rozpoznání, zda se jedná o lineární nebo nelineární odezvu modelu na analýzu. Uživatel má možnost provést analýzu také v ABAQUS/STANDARD nebo v ABAQUS/EXPLICIT. V hlavní analýze mohou být provedeny následující analýzy: statická, dynamická, přestup tepla a jiné. System dále dovoluje další práci s analýzou jako je znovu spuštění analýzy. Vykonání části analýzy s ABAQUS/STANDARD nebo ABAQUS/EXPLICIT a dále pokračovat v analýze s dalším produktem. Je také podporováno vzájemné převádění výsledků mezi těmito podsystémy.[7]

5.8 Prezentace výsledků

5.8

V tomto systému je zakomponována komplexní sada vizualizačních možností, které pomáhají uživatelům zobrazit výsledek analýzy, který se může převést do různých formátů výstupu, a to včetně všech animací, zpráv, obrazů. ABAQUS/CAE poskytuje specifické vizualizační a zobrazovací schopnosti pro ABAQUS FEA, které nejsou použity v jiných postprocessing produktech.[9]

6 FEMPRO

6.1 Základní informace

Systém FEMPRO je produktem celosvětové společnosti Algor založeném na bázi MKP. Systém poskytuje kompletní a snadno použitelné prostředí pro metodu konečných prvků. Systém podporuje široký okruh schopností simulace poskytované firmou Algor včetně statického namáhání a Mechanical Eventa Simulation (MES). Společnost Algor také poskytuje modelování na bázi lineární dynamiky, přestupu tepla, proudění tekutiny a elektrostatiky.[10]

6.2 Spolupráce s CAD systémy

FEMPRO obsahuje InCAD technologii pro přímou CAD/CAE výměnu dat s Alibre Design, Autodesk Inventor, Inovate, IronCAD, KeyCreator, Mechanical Desktop, Pro/ENGINEER, Rhinoceros, Solid Edge a SolidWorks.[11]

6.3 Tvorba modelu geometrie

FEMPRO obsahuje unikátní nástroj Alibre Design Basic pro 3D modelování. S tímto modulem může uživatel vytvořit precizní 3D model a následně i 2D kresbu. Alibre Design Basic je velice snadný ve využívání jeho funkcí a tím pomáhá uživateli naučit se co nejlépe využívat jeho vlastnosti.[12]

Alibre design Basic se dodává ve dvou variantách:

6.3.1 Alibre Design Professional

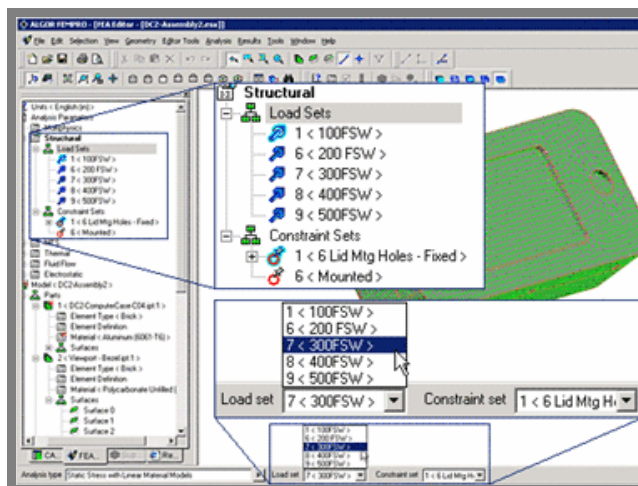
Tato verze je nástavba základní verze a tudíž se musí dodatečně nainstalovat do systému, obsahuje například integrovaný návrh tabulového plechu, Alibre Photorender pro tvoření kvalitních obrazů a další.[12]

6.3.2 Alibre Design Expert

Tento modul zahrnuje vše z předchozího modulu a navíc další funkce, a to například Alibre Photorender Industrial pack pro realistické povrchové efekty a další.[12]

6.4 Tvorba sítě konečných prvků

Před vytvořením samotné sítě konečných prvků se musí provést definování zatížení a okrajových podmínek (viz. Obr. 24). To se provádí v levém a spodním kontextovém menu. K dispozici jsou všechny známé podmínky z předchozích systémů.[10]



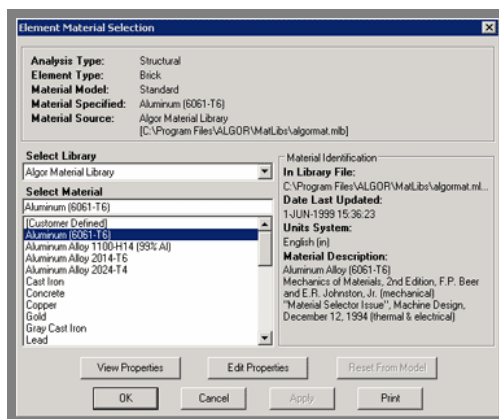
Obr. 24 Definování zatížení a okrajových podmínek [10]

Po nadefinování podmínek následuje volba sítě a poté se definuje jaký prvek použit. Výběr je prováděn v knihovně prvků. V knihovně jsou obsaženy prvky pro 2D a i 3D síť. FEMPRO disponuje také automatickou volbou tvorby sítě. Tuto automatickou volbu může uživatel následně kontrolovat a upravovat.[10]

6.5 Knihovna materiálů

FEMPRO má v sobě zakomponovanou celou knihovnu materiálů. V této knihovně se definuje nejdříve druh analýzy, typ prvku pro tvorbu sítě a pak už samotné přiřazení materiálu danému modelu (viz. Obr.25).[10]

6.5



Obr. 25 Knihovna materiálů [10]

6.6 Zadávání vazeb a zatížení

U tohoto systému je nutné při nastavení příslušné okrajové podmínky použít uživatelský souřadný systém. Při definování uživatelského souřadného systému má uživatel na výběr ze tří druhů, a to rectangular, spherical, cylindrical. Dále následuje volba zatížení na plochu, které uživatel definuje tak, že nejdříve určí druh podmínky, její velikost a nakonec směr zatěžující síly.[14]

6.6

6.7 Řešení, typy analýz

V Algoru existuje celá řada řešičů z nichž každý řeší jiný typ analýzy. Například SSAP0 lze použít pro lineární statickou analýzu nebo SSAP1 pro modální analýzu atd. Ale definování typu analýzy je nutné provést již před samotnou transformací modelu do programu FEMPRO.[14]

6.8 Prezentace výsledků

FEMPRO zahrnuje široký okruh zobrazení výsledků analýzy. Tyto schopnosti jsou dostupné pro všechny Algor simulace včetně statického namáhání, Mechanical Event Simulation (MES), lineární dynamiku, přestup tepla, proudění tekutiny a elektrostatiky. FEMPRO výsledky vyhodnocení analýzy zahrnuje:

- integrovaný Superview IV Results prostředí pro modelovou představu a vyhodnocení výsledku
- 3D dynamické prohlížení a bohatou škálu barev
- vícenásobná okna pro prohlížení více výsledků pro různé volby zadání
- automatická ukázka jednotek v legendě výsledků
- možnost vytvoření grafu z výstupních hodnot pro použití v dalších aplikacích Windows
- integrované vytvoření animace
- export výstupních dat do různých formátů [13]

7 HODNOCENÍ

Tato kapitola se zabývá zhodnocením a porovnáním systémů uvedených v této práci. Srovnání provádíme ze tří hledisek.

7.1 Komunikace s CAD systémy

Tab. 1 Podporované CAD systémy

	ANSYS	COSMOS DesignSTAR	ABAQUS/CAE	FEMPRO
Autodesk Inventor	x	x		x
CATIA	x	x	x	
ProENGINEER	x	x	x	x
SolidWorks	x	x		x
Unigraphics	x			
CoCREATE	x			
IGES	x	x		
Parasolid	x	x	x	
ACIS	x	x	x	
STEP	x	x		
SolidEdge		x		x
ABAQUS/STANDARD			x	
ABAQUS/EXPLICIT			x	
AutoCAD	x	x	x	
Alibre Design				x
Inovate				x
Iron CAD				x
KeyCreator				x
MechanicalDesktop				x
Rhinoceros				x

Výše uvedená tabulka uvádí podporované CAD systémy pro daný program. Z této tabulky vyplývá, že ANSYS podporuje nejvíce programů, zatímco ABAQUS/CAE nejméně. Navíc všechny programy, které ANSYS podporuje jsou ve skupině nejpoužívanějších v praxi. Díky tomuto hledisku hodnotím jako nejlepší program ANSYS, poté COSMOS, protože, stejně jako ANSYS podporuje většinu nejpoužívanějších systémů. Poté uvádím FEMPRO, který podporuje také mnoho programů. Zde bych uvedl i jeho nevýhodu a to, že jím podporované programy (zejména SolidEdge, Alibre Design, Inovate, Iron CAD, KeyCreator, Rhinoceros) nejsou tolik využívány uživateli ve strojírenském průmyslu v České Republice. ABAQUS/CAE sice podporuje programy často používané v České Republice, ale jejich počet nedosahuje na ANSYS.

7.2 Tvorba sítě konečných prvků

Z výše popisovaných programů - ANSYS, COSMOS DesignSTAR, ABAQUS/CAE, FEMPRO - všechny podporují dostupné konečné prvky pro MKP. Z toho plyne, že se všechny programy pohybují na stejné úrovni použitelnosti.

7.3 Druhy používaných analýz

Tab. 2 Dostupné analýzy

	ANSYS Workbench	COSMOS DesignSTAR			ABAQUS	FEMPRO
		Designer	Professional	Professional (rozšířená verze)		
Lineárně statická	x	x	x	x	x	x
Skořepinová		x	x	x		
Assembly & contact		x	x	x		
Buckling	x		x	x	x	
Termální	x		x	x	x	x
Únavová	x		x	x		x
Rázová zkouška			x	x		
Simulační pohyb			x	x		
Nelineárně statická	x			x	x	x
Dynamická				x	x	x
Elektromagnetická			x	x		
Akustická					x	
Pore-fluid					x	x
Elektrostatická						x
Modální	x				x	
Random Vibration	x					

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedeny dostupné analýzy pro jednotlivé programy, případně pro jejich verze. Z toho vyplývá, že COSMOS DesignSTAR disponuje nejvyšším počtem analýz. Navíc tyto analýzy jsou velmi často používány v praxi. Ale nevýhodou je, že tyto analýzy jsou dostupné pouze ve verzi Professional (rozšířená verze), čemuž také odpovídá vyšší cena při koupi. Proto by si měl případný zájemce rozmyslet, které analýzy bude nejčastěji využívat a zda by mu tedy spíše nevyhovovala nižší verze. Ale i vzhledem k této skutečnosti hodnotím COSMOS jako nejzdařilejší v této kategorii. Ostatní popisované programy jsou zhruba na stejné úrovni použitelnosti. Rozhodnutí je potom na zákazníkovi, pro který systém se rozhodne, který je pro jeho potřeby nejvhodnější.

Samozřejmostí také je, že každý program dokáže jednotlivé analýzy kombinovat vzájemně mezi sebou. Například ANSYS WorkBench disponuje kombinací termálně-tranzitní, zatímco ABAQUS/CAE termálně mechanickou.

8 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala distribuovanými produkty na bázi metody konečných prvků. Na současném trhu se těchto produktů pohybuje velmi mnoho. Byly vytvořeny za účelem pomoci konstruktérům při jejich obtížné práci navrhování modelů. Činnost těchto systémů zrychluje a zefektivňuje práci jejím uživatelům. V Evropě je zřejmě nejpoužívanějším systémem ANSYS Workbench. Mezi jeho výhody lze zařadit snadnou dostupnost na trhu a u distributorů. V České republice dostupnost zajišťuje firma SVSFEM s.r.o. se sídlem v Brně. Jeho instalace probíhá snadno, stačí pouze pár kroků. Také instalace nadstaveb proběhne velmi rychle. Prostředí je velmi jednoduché a intuitivní a napomáhá uživateli tím, že dokáže vést postup v analýze. Tento produkt vytvářejí skuteční odborníci, kteří dokáží porozumět konstruktérům v praxi a tudíž ho dokáží jim přizpůsobit.

Dalším produktem je COSMOS DesignSTAR. Tento produkt je také velmi zdařilý. Jeho dostupnost na trhu je velmi dobrá, v České republice ho zajišťuje Tech Soft Engineering s.r.o. se sídlem v Praze. Instalace COSMOS DesignSTAR i následných modulů proběhne také bez větších obtíží. Jeho prostředí je oproti ANSYS, poněkud složitější. Už není tolik intuitivní a vyžaduje tedy více uživatelových schopností.

Systém ABAQUS/CAE od společnosti Simulia je oproti předchozím systémům méně zdařilý. Je dostupný na trhu po celém světě, v České Republice distribuci zajišťuje společnost Synerva se sídlem v Psárách. Jeho prostředí je sice také celkem zdařilé, ale stejně jako COSMOS vyžaduje zkušenějšího uživatele. Jako nevýhodu bych zmínil, že společnost Simulia má velmi široký okruh uplatnění pro své produkty a tudíž na ABAQUS/CAE moc pozornosti nezbyvá. Zřejmě proto konstruktéři raději využívají ANSYS či COSMOS.

Posledním popisovaným produktem je FEMPRO. Ten je bohužel na trhu distribuován spíše pro Ameriku a Asii. Pro uživatele v České Republice je proto složitější si tento produkt obstarat. Společnost Algor nemá tak široký okruh uplatnění jako Simulia. Její produkty se spíše zaměřují pro použití odborníky v konstruktérské praxi. Prostředí FEMPRO je stejně jako ANSYS snadno použitelné, protože je velmi intuitivní.

Z popisovaných produktů je tedy zřejmě nejlepším ANSYS Workbench pro jeho jednoduchost a snadnou dostupnost. Avšak COSMOS DesignSTAR mu může konkurovat. Z těchto čtyř systémů hodnotím jako nejméně zdařilý ABAQUS/CAE.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Geometrie a parametry návrhu	8
Obr. 2 ANSYS Workbench kontrola CAD parametrů	8
Obr. 3 Řez modelem	9
Obr. 4 Okamžitá změna geometrie	9
Obr. 5 Hrubší síť konečných prvků	12
Obr. 6 Jemnější síť konečných prvků	10
Obr. 7 Vysoce kvalitní skořepinová síť	10
Obr. 8 Shromažďování sítí na odlišných typech součástí	10
Obr. 9 Okrajové podmínky aplikovány na geometrických entitách	11
Obr. 10 Přizpůsobení hyperelastických zákonů experimentálními daty	11
Obr. 11 Zatěžovací historie při mnohonásobných časových krocích	11
Obr. 12 ANSYS Workbench zobrazení nezávislé či propojené analýzy	12
Obr. 13 DesignXplorer tří-dimenzionální diagram umožňující optimalizaci návrhu	13
Obr. 14 Konturový náčrt na tělese	13
Obr. 15 Výsledek zobrazený na jakékoli	13
Obr. 16 Zobrazený graf pro odchylovací křivku	14
Obr. 17 Výsledek výpočtu zobrazený jako textová data	14
Obr. 18 Volba nastavení druhu prvků	16
Obr. 19 Příklad zobrazení sítě	17
Obr. 20 Menu nabízející definování materiálu	18
Obr. 21 Zobrazení zatížení a okrajových podmínek	19
Obr. 22 Definování prováděné analýzy	20
Obr. 23 Zobrazení výsledku analýzy	21
Obr. 24 Definování zatížení a okrajových podmínek	25
Obr. 25 Knihovna materiálů	25

10 SEZNAM TABULEK

10

Tab. 1 Podporované CAD systémy

27

Tab. 2 Dostupné analýzy

28

11 SEZNAM LITERATURY

- [1] MACÁNEK, S. *Srovnání MKP produktů určených pro konstruktér*. Diplomová práce. Brno:Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [2] *Firma SVSFEM*
URL: <http://www.svsfem.cz/index.php/public/page.php?lang=cz&pgid=97>, [cit. 2008-2-2].
- [3] *Mechanical Simulation with ANSYS Workbench*
URL: <http://www.ansys.com/solutions/simulation-environment.asp>, [cit.2008-2-2].
- [4] *Úvod do AutodeskInventor Professional 10*
URL:
http://www.autodeskclub.cz/club/files/autodesk_inventor_professional_10_MK_P.pdf [cit. 2008-2-2].
- [5] NEDELICU, D., MANESCU, S., CAMPAIN, C., V., *Finite Element Analysis Through COSMOS M/Design STAR*.
URL:
http://www.mas.bg.ac.yu/istrazivanje/biblioteka/publikacije/Transactions_FME/Volume32/1/FME%20Vol%2032%20No1%20Manesku.pdf, [cit. 2008-2-13].
- [6] *COSMOS DesignStar*
URL: <http://www.cosmosm.com/pages/products/cosmosdesignstar.html>, [cit. 2008-2-13].
- [7] *Abaqus/CAE user's Manual*
URL: <http://abaqusdocs.ecn.purdue.edu:2080/v6.7/books/usi/default.htm>, [cit. 2008-3-10].
- [8] *Abaqus/CAE*
URL: http://www.simulia.com/products/abaqus_cae.html, [cit. 2008-3-11].
- [9] *Abaqus Unified FEA*
URL: http://www.simulia.com/download/pdf/Abaqus_6.7.pdf, [cit. 2008-3-11].
- [10] *FEMPRO*
URL: http://www.algor.com/products/comp_advantage/FEMPRO/default.asp, [cit. 2008-4-3].
- [11] *ALGOR Modeling and Meshing Capabilities*
URL:
http://www.algor.com/products/comp_advantage/FEMPRO/modeling/default.asp, [cit. 2008-4-3].
- [12] *Alibre Design*
URL:
<http://www.alibre.com/AlibreLibraries/ftp/inforequest/alibredesign8sheet.pdf>, [cit. 2008-4-4].

[13] *Results Evaluation and Presentation*

URL:

http://www.algor.com/products/comp_advantage/FEMPRO/results/default.asp,

[cit. 2008-4-4].

[14] *ZKP – průvodce analýzou příruby osnovního válu*

URL: <http://www.kts.tul.cz/zkp/index.php?page=texty/priruba&list=5>,

[cit.2008-4-5].

